

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra řídicí a měřicí techniky

Vodní čerpadlo poháněné alternativním zdrojem energie

Water Pump Powered by Alternative Power Source

*Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*

.....

Abstrakt:

Tento projekt realizuje návrh a vývoj vodního čerpadla pohaněného alternativním zdrojem energie. V tomto případě je zdrojem energie fotovoltaický panel. Jelikož světlo je nejdostupnější formou alternativní energie. Získávání elektrické energie pomocí fotovoltaiky je v poslední době nejrychleji se rozvíjející odvětví alternativního získávání energie. Zejména pak z důvodu velice štědrých dotací ze strany státu a Evropské Unie.

Fotovoltaický jev není záležitostí pouze polovodičových materiálů, ale jak ukazují poznatky z kvantové mechaniky prakticky veškeré známé hmoty. Podstatná je přitom hodnota mezní frekvence. Mezní frekvence je charakteristickou vlastností každé látky. Pokud frekvence záření přesáhne tuto frekvenci tak dochází k fotovoltaickému jevu. Z tohoto důvodu mohou být kolektory i z nekřemíkových materiálů.

Abstrakt:

This project implements the design and development water Pump Powered by Alternative Power Source. In this case, the source of energy is a photovoltaic panel. Since light is the most accessible form of alternative energy. Generating electricity using photovoltaic has recently been the fastest growing industry alternative energy production. In particular, because of very generous grants from the State and the European Union.

The photovoltaic effect is not only a matter of semiconductor recycled materials, but as shown knowledge of quantum mechanics practically all known matter. What matters is taking value cut-off frequency. The limit frequency is characteristic of each substance. If the frequency exceeds the radiation frequency so there is a photovoltaic phenomenon. For this reason, collectors are also non-silicon materials.

Klíčová slova: fotovoltaiky, fotovoltaický jev, fotovoltaický panel, polovodič, P-N přechod, akumulátor, invertor, vliv teploty, monokrystalický panel, polykrystalický panel, amorfní panel,

Key words: photovoltaic, photovoltaic effect, photovoltaic panels, semiconductors, PN switch, battery, inverter, temperature effects, the monocrystalline panel, polycrystalline panel, amorphous panel

Seznam použitých symbolů

Značka	veličina	jednotka
E_v	Nejvyšší energetická hladina valenčního pásu	$e \cdot V$
E_c	Nejnižší hladina vodivostního pásu	$e \cdot V$
ΔE	Šířka zakázaného pásu	$e \cdot V$
E	energie	J
EEF	Účinnost solárního článku	-
F	dopadající zářivý tok	W
F	počet dopadajících fotonů za sekundu	$hn \cdot s^{-1}$
FF	fill factor	-
e	Elementární náboj	C
g	kvantový výtěžek	-
g	Tíhové zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
h	výška	m
I	Hustotu zářivého toku (intenzitu záření)	$W \cdot m^{-2}$
I	Elektrický proud	A
I_f	Fotoelektrický proud	A
I_s	Nasycený svodový proud v závěrném směru	A
I_{sc}	Proud na krátko	A
I_{25}	proudu panelem na krátko, při 25° C	A
I_{37}	proudu panelem na krátko, při 37 C	A
I_{45}	proudu panelem na krátko, při 45° C	A
I_{450}	Proud tekoucí článkem při napětí 450 mV.	A
k	Boltzmannova konstanta	$J \cdot K^{-1}$
k	počet nosičů, které dospějí k přechodu	-
n	Počet sériově řazených článků	-
T	Absolutní teplota	K
T_{est}	odhadovaný čas nabíjení	h
t	čas	s
R	součinitel odrazivosti	-
R_{so}	Sériový odpor solárního článku	Ω
R_{sh}	Paralelní odpor solárního článku	Ω
P	Výkon	W
P_m	Maximální výkon	W
ΔP_s	část slunečního výkonu je přenášena na povrch země	W
P_{800}	Výkon při intenzitě záření $800 W m^{-2}$ a teplotě panelu 45° C	W
U	Elektrické napětí	V
U_{oc}	Napětí na prázdno	V
$U_{stř}$	střední hodnota napětí	V
U_{25}	napětí panelu na prázdno, při 25° C	V
U_{45}	napětí panelu na prázdno, při 45° C	V
U_{37}	napětí panelu na prázdno, při 37 C	V
W_{pv}	potřebná energie	J
V	Objem kapaliny	m^3
Q	kapacita akumulátoru	$A \cdot h$
Q_u	užitná hodnota kapacity	$A \cdot h$
Q_v	Objemový průtok	$m^3 \cdot s^{-1}$

ΔQ	změna kapacity akumulátoru	A·h
Q50%	užitná kapacita	A·h
W_z	Střední hodnota energie dopadající na Zem	J
ΔW	Rozdíl energií	J
ϕ	Zářiví tok	W
η	účinnost nabíjecího cyklu	-
η_m	Maximální efektivita FV článku	-
ρ	Měrná hustota	kg.m ⁻³

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam použitých zkratk

Zkratka	význam
FV	fotovoltaický
AC	střídavý proud
DC	stejnoseměrný proud

Obsah:

1 Úvod:	1
1.2 Užítost Fotovoltaické Soustavy	1
1.3 Cíl práce a metodika:	2
2. Teoretický Rozbor:	3
2.1 Slunce:.....	3
2.2 Historie fotovoltaiky	3
2.3 Vlastnosti Polovodiče	4
2.4 Příměsové polovodiče	5
2.5 PN přechod.....	6
2.6 Princip fotovoltaického článku	6
2.7 Rozdělení Solárních Soustav	8
2.8 Vliv teploty na účinnost fotovoltaických článků	9
2.9 Výroba FV panelů.....	11
2.10 Konstrukce fotovoltaického panelu	11
2.11 Parametry fotovoltaického článku	12
3. Komponenty.....	13
3.1 Invertory.....	13
3.2 Olověné akumulátory	13
4 fotovoltaická soustava.....	15
4.1 Použití fotovoltaické soustavy	15
4.2 Návrh řešení	15
4.3 Sestavení fotovoltaické soustavy	19
4.4 Měření	19
5. Závěr	24

1 Úvod:

Současná doba klade velké nároky na spotřebu energie, proto je potřeba vyrábět velké množství elektrické energie buď v tepelných elektrárnách, nebo v jaderných elektrárnách. Tato činnost však není bez rizika a následků na naše okolí.

Tepelné elektrárny jsou vázány na těžbu fosilních paliv. Zejména pak na těžbě uhlí, jehož zásoby jsou časově omezené a konečné. Činnost těchto elektráren značně poškozují životní prostředí, vede k emisím skleníkových plynů a popílku, účinnost těchto elektráren není příliš vysoká.

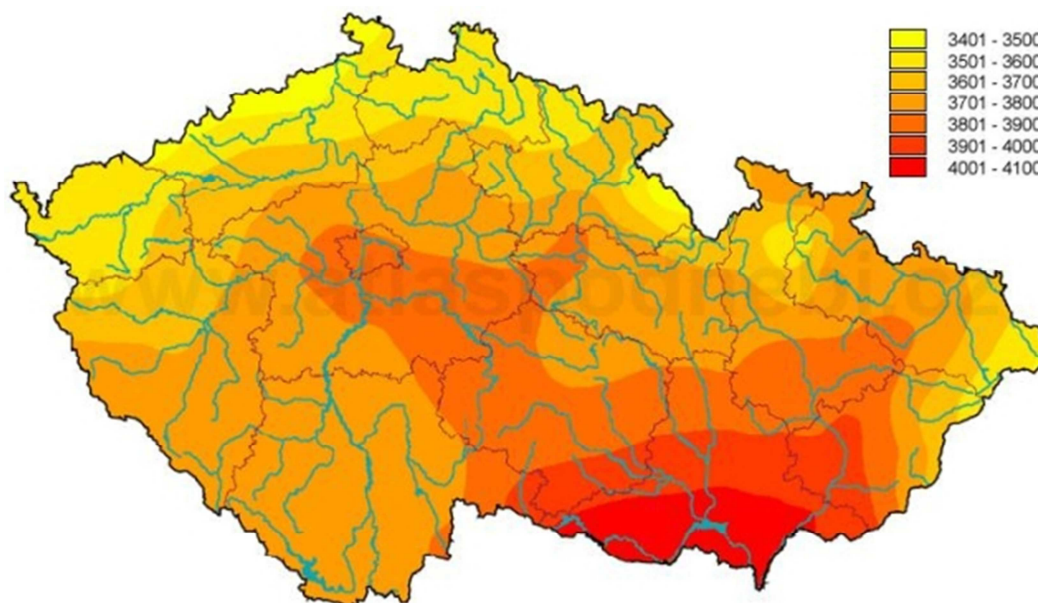
Provoz jaderných elektráren, kde zdrojem energie je uran a jeho štěpení, představuje další riziko. Ze kterého vyplývají vysoké nároky na kvalitu výrobního prostředí, vzdělání a zodpovědnost pracovníků. Ani to však nezajistí bezpečí při špatné geopolitické situaci, jelikož důvodem havárie nemusí být pouze závada technologického zařízení.

Tyto způsoby získávání jsou sice relativně snadno dostupné, ale daň za získání této neobnovitelné energie je vysoká. Skleníkové plyny, uvolňované jak přímým spalováním (oxid uhličitý) tak při těžbě zejména zemního plynu (metan), způsobují skleníkový efekt. Který je na rozdíl od problémů jako změna krajinného rázu povrchovou těžbou řešitelný. Bylo určeno, že roční spotřeba oxidu uhličitého rostlinami představuje 20% lidské roční produkce. Také bylo prokázáno zvýšení nárůstu rostlinné hmoty v závislosti na objemu oxidu uhličitého v atmosféře. To znamená, že prostředí je schopné se do méně než pětiset let pozvolna zotavit z následků století industrializace a spalování fosilních paliv. Toto tvrzení však platí, pouze pokud by od okamžiku vyřčení nebyl pokácen ani jeden strom a flora byla ušetřena veškerých lidských zásahů. Dalším problémem je otázka vyhořelého odpadu z jaderných elektráren jeho uskladnění a následná recyklace pro další použití. Všechny tyto závěry nás vedou najít jiné způsoby získávání energie.

1.2 Užitenost Fotovoltaické Soustavy

Doba slunečního záření představuje počet hodin souvislého slunečního svitu za měsíc nebo za rok. V České republice je to asi 1500 h / rok. Intenzita slunečního záření je veličina, která vyjadřuje souhrn globálního záření na jednotku vodorovné plochy, opět za měsíc nebo za rok. V České republice se tato hodnota pohybuje v rozmezí 950 - 1250 kWh·m⁻² za rok.

Obrázek 1. znázorňuje roční úhrn globálního záření v ČR:



Obr 1.: Sluneční záření, sluneční svit a oblačnost.
Průměrný roční úhrn globálního záření v MJ/m²[1]

Množství sluneční energie, které dopadne na plochy rodinného domu během jednoho roku, by spolehlivě stačilo pokrýt celoroční nároky na vytápění, ohřev vody a další potřeby, avšak problémy dosud trvají v technické stránce využití solární energie a v nákladnosti příslušných technologií. V důsledku těchto problémů jsme v praxi schopni využít jen menší část sluneční energie.

1.3 Cíl práce a metodika:

Cílem práce bylo seznámení se s dostupnou technologií fotovoltaické techniky. Bylo navrženo zařízení, určené k čerpání vody z vrtu. Takovéto zařízení by bylo možné používat v domácnostech, nebo podnicích s menší spotřebou vody. Jako zásadní význam mé práce považuji upozornění na možná budoucí využití ostrovních systémů, která se, s použitím fotovoltaické technologie objevují. Vedlejším cílem práce je větší informovanost veřejnosti o možných způsobech využití alternativních zdrojů energie v běžném životě.

Nejprve jsem prošel problematiku použití fotovoltaické soustavy, její výhody a nevýhody. Prostory a zařízení vhodné pro použití fotovoltaických soustav. Provedly jsme rozdělení solárních systémů a technologie zejména zajišťující přímou přeměnu světla na elektrickou energii. Způsoby využití takto získané energie. Poté jsme přistoupily k samotnému řešení úlohy. Zvážily jsme možné alternativy řešení a vybraly z nich nejlepší přístup, který jsme dále realizovaly.

2. Teoretický Rozbor:

2.1 Slunce:

Slunce je hvězdou nejběžnějšího typu v naší galaxii a ve vesmíru vůbec. Jedná se o hvězdu spektrálního typu G2V, a tvoří 99,8% hmotností sluneční soustavy. Teplota povrchu Slunce je zhruba 5 800 K a jeho průměr je 1 400 000 km, jeho obsah je pak 1,3 milionkrát větší než objem země. Jeho hmotnost je pak $1,9891 \cdot 10^{30}$ Kg, tedy 332 950 Zemí. Slunce je přibližně 4,6 miliardy let staré vzniklo z mlhoviny řídkých plynů a prachových částic, tedy pozůstatků hvězd minulé generace. Dlouhodobým působením gravitační síly se mlhovina smršťovala a v jejím středu narůstala hustota a tlak. Působením tlaku pak stoupala teplota. V momentu kdy teplota překročila kritickou hodnotu, došlo k zážehu termojaderné fúze (k jaderné fúzi vodíku při teplotě cca $T = 10^7$ K). Tím se zrodila nová mladá hvězda, naše Slunce. Začala se tím uvolňovat jaderná energie. Vyzařováním na povrchu po čase nastala rovnováha mezi gravitační silou a energií z jádra hvězdy. Hodnota vyzařování je velmi stabilní, mění se jen nepatrně během jedenáctiletého cyklu. Slunce zůstane aktivní dalších 5-7 miliard let.

Pouze malá část slunečního výkonu je přenášena na povrch země.

$$\Delta P_s = \frac{\pi \cdot r_z^2}{4 \cdot \pi \cdot R_s^2} \cdot P_s = 1,79 \cdot 10^{17} W \quad [2.1]$$

Střední hodnota energie dopadající na Zem za jeden den je pak :

$$W_z = \Delta P_s t = 1,79 \cdot 10^{17} J \cdot s^{-1} \cdot 86400 \cdot s = 1,55 \cdot 10^{22} J \quad [2.2]$$

Střední intenzita energie dopadající na jednotku plochy:

$$I = \frac{\Delta P_s}{\pi \cdot r_z^2} = 1367 W \cdot m^{-2} \quad [2.3]$$

Tuto hodnotu nazýváme solární konstanta. Reálná hodnota intensity energie na povrchu Země je však nižší. Je tomu tak, protože se část energie odrazí od atmosféry, nebo je atmosférou pohlcena. Okamžitá hodnota závisí na povětrnostních podmínkách, denní a roční době. Maximální intenzita na povrchu je pak 1100 W.m⁻².

Slunce je hlavním zdrojem energie ve sluneční soustavě. Veškerá energie na Zemi pochází ze slunce (kromě energie jaderné). Energie fosilních paliv je akumulovanou energií fotosyntetických procesů.

2.2 Historie fotovoltaiky

Fotovoltaika byla náhodně objevena Francouzem Alexandrem Edmondem Becquerelem při jeho experimentech. Poté co ponořil kovové elektrody do kapalného elektrolytu, po osvětlení zjistil, že začne protékat proud. Tehdy však fotovoltaický jev byl však pouze raritou, bez praktického využití.

V padesátých letech změnu způsobila potřeba získání elektrické energie pro první umělé družice a vesmírné sondy. Vznikly tehdy FV články první generace. Tyto články se vyrábí z monokrystalického křemíku, články se pak skládají do panelů. Tyto panely jsou na dnešním trhu nejvíce zastoupené (90%) jelikož se po šedesátiletém vývoji vyznačují vysokou účinností (14-17%) a dlouhodobou stabilitu výkonu, která je velmi důležitá zejména pro velké instalace. Nevýhodou je potřeba velmi čistého křemíku (99,9999999%), z toho vyplývá vysoká cena těchto článků.

K většímu využití FV panelů došlo v sedmdesátých letech po ropné krizi. Kdy se společnost snažila zbavit závislosti na ropě. Spolu s tím se objevily nové generace FV článků. Mluvíme tedy o druhé generaci FV článků. Charakteristickou vlastností u ní byla snaha zmenšení tloušťky článku. Úspora křemíku pak přinesla velké finanční úspory. Mluvíme zde

proto o tenkovrstvých článcích, vyráběných z monokrystalického, polykystalického a amorfního křemíku. Tloušťka článku pak byla 100-1000 krát menší. Začaly se používat i jiné materiály než křemík. Používaly se například tzv. směsné polovodiče z materiálu jako je Cu, In, Ga, S, Se, které tvoří struktury CIS. Značnou výhodou oproti starším typům článků je pružnost, takže nedochází tak často k poškození panelů, a existují speciálně pro tento účel navržené články použitelné pro nášivky na oblečení, batohy, nebo stanové celt. Tyto články jsou požívaný povětšinou ve výbavě moderních armád. Nevýhodou je mnohem nižší účinnost těchto panelů a jejich výkon s časem rychle klesá.

Třetí generace FV článku je typická tím, že k přeměně energie používá jiné materiály než křemík. Jedna se pak o polymerní články, fotochemické (fotogalvanické) články, nanostruktury ve formě uhlíkových trubiček.

Čtvrtou generaci pak tvoří kompozitní struktury, složené z více vrstev. Přičemž každá vrstva přeměňuje jinou část spektra a proto mohou efektivněji využít širší část světelného spektra.

Třetí a čtvrtá generace ještě nenašla cestu k nízkorozpočtové výrobě a tudíž můžeme očekávat, že o ně pro komerční použití není příliš velký zájem.

	Běžná účinnost	Laboratorní max. účinnost
	[%]	[%]
Monokrystalické	14-17	25
Polykrystalické	13-16	20
Amorfni	5-7	12

Tab. 1.: Účinnosti panelů

S rozvojem polovodičové techniky se naskytá praktický způsob získávání stále více potřebné energie fotovoltaickou cestou, a možnosti ekologického a ekonomického přístupu k alternativním zdrojům. Užití alternativních zdrojů a konstrukce ostrovních systému, naskytá i možnost lepší dostupnosti energie na územích nedostupných pro konvenční rozvod energie. To z důvodu vzdálenosti, nebo geografických překážek jako například moře.

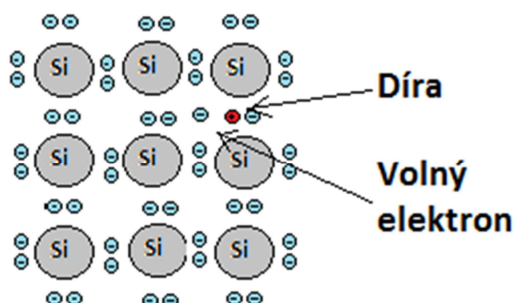
Výkonost těchto systému ovlivňuje celé řada faktorů které je potřeba vzít v potaz. Hlavní z nich je množství sluneční energie dopadající na povrch daného regionu. Tato hodnota se stejně jako sklon absorpčních ploch mění v závislosti na absolutní geografické poloze, respektive na zeměpisné šířce. Dalším aspektem je materiál a technologie výroby daných kolektorů ovlivňující efektivitu a spektrální citlivost aparatury.

2.3 Vlastnosti Polovodiče

Čisté polovodiče se vyznačují vysokým elektrickým odporem. To jak za normálních teplot, tak i za teplot velmi nízkých blízkých teplotě absolutní nuly (0K). Teplotní koeficient polovodičů je záporný, neboli jejich odpor je nepřímě úměrný jejich teplotě. Příčinou je, že elektrony jsou pevně vázané ve valenční vrstvě. Nejvyšší energetická hladina valenčního pásu se označuje E_v , nejnižší hladinu vodivostního pásu značíme E_c . Šířka zakázaného pásu je tedy $\Delta E = E_c - E_v$. Za jistých podmínek se záření někdy chová jako tok částic. Částice světla pak nazýváme fotony a částice tepla nazýváme fonony. Předá-li některá z těchto částic svou energii elektronu je schopen překonat šířku zakázaného pásu a přejde do vodivostního pásu. Obě vrstvy jsou pak částečně obsazeny.

Na místě kde elektron opustil valenční vazbu, vznikne nedostatek záporného náboje tzv. díra. Díra se pak dále chová jako kladně nabytá částice díra a elektron vznikají současně. Tomuto procesu říkáme generace. Pokud zajistíme, stály přísun energie, bude se uvolňovat stále

více elektronu. Nově vzniklé díry pak přitahují volné elektrony. Pokud se elektron a díra setkají, zaniknou a utvoří znovu pevnou vazbu. Jelikož jednotlivé elektrony přeskakují mezi dírami, jeví se tento děj jako pohyb částic, která se nazývá rekombinace.

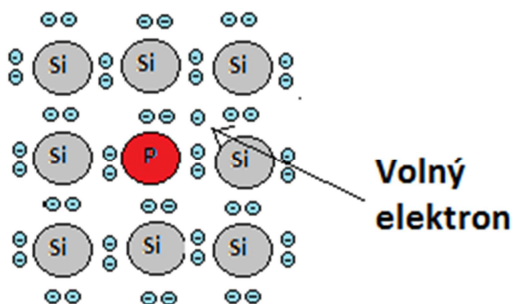


Obr. 2.: Polovodič s nečistotou

2.4 Příměsové polovodiče

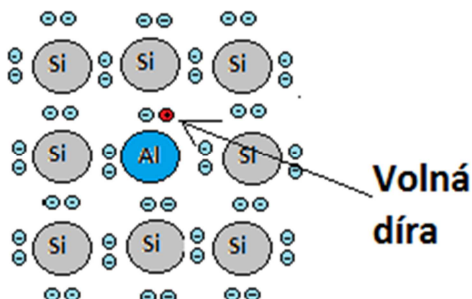
Polovodiče lze rozdělit podle nosiče náboje, na vlastní a příměsové. Příměsové pak můžeme dále dělit podle typu dopovaných nábojů na polovodiče typu N (přebytek elektronů) a polovodiče typu P (přebytek děr).

Přidáním pětímocného prvku (Ga, B, Al) do čtyřmocného křemíku vznikne polovodič typu p. tří a méně mocným příměsím říkáme akceptory (příjemci), vnášejí volnou díru do krystalické mřížky.



Obr.3.: Polovodič typu N

Přidáním třímocného prvku (As, Sb, P) do čtyřmocného křemíku vznikne polovodič typu N. Pěti a vícemocným příměsím říkáme donory (dárce), vnášejí nevázaný elektron do krystalické mřížky.



Obr.4.: Polovodič typu P

2.5 PN přechod

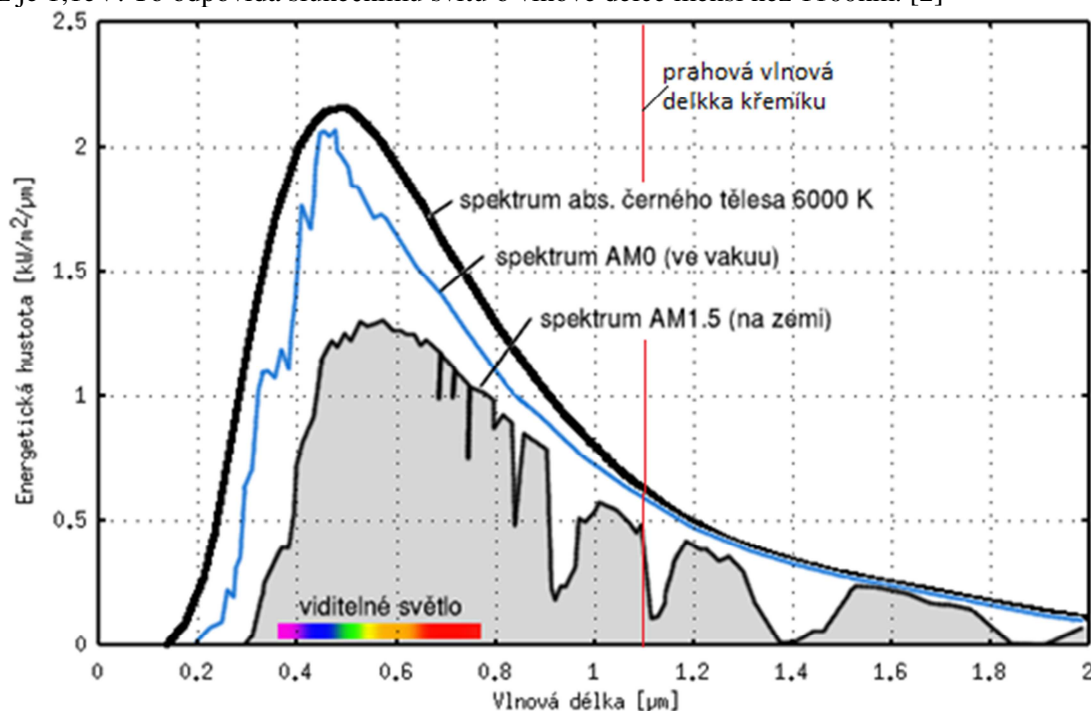
Spojením polovodiče typu P a N, dojde k vyrovnávání potencionálu mezi polovodiči. Říkáme že, elektrony difundují z polovodiče N do polovodiče typu P. Při kontaktu elektronu s dírou dochází k rekombinaci a volný elektron zaniká. Tento přesun částic ustává z důvodu vzniku elektrostatického pole v polovodiči, které brání dalšímu přesunu částic. Takto dojde k zvýšení odporu v oblasti P-N přechodu.

Po připojení zdroje napětí se pak při přivedení záporného napětí na polovodič N a kladného napětí na polovodič P se potenciál mezi nimi opět zvýší a umožní volným elektronům znovu procházet mezi polovodiči. Vodivost P-N přechodu se pak opět zvýší. V případě opačného napájení se pak šířka nevodivé vrstvy zvětšuje a odpor narůstá.

2.6 Princip fotovoltaického článku

Fotovoltaický článek je tenká velkoplošná dioda s P-N přechodem v malé hloubce. Na P-N přechod jsou pak z obou stran připojeny kovové kontakty.

Při dopadu fotonu na povrch polovodiče předávají svou energii elektronům ve valenční vrstvě. Tato energie závisí na frekvenci záření. Pokud jejich energie odpovídá energii ΔE_G dochází k generaci páru volný elektron díra. Přebytečná energie je pohlcena polovodičem a způsobí rozkmitání mřížky a změně se tak na teplo. Polovodič může využít fotony o energii větší než je 1,1 eV. To odpovídá slunečnímu svitu o vlnové délce menší než 1100 nm. [2]



Obr. 5.: Sluneční spektrum

Jeden z polovodičů tvořící přechod PN, např. N, je ozářen. Vliv osvětlení se zvětší koncentrace minoritních nosičů (děr), u nichž se neuplatní působení potenciálové bariéry. V prvním přiblížení je třeba změnu koncentrace elektronů zanedbat, pouze nepatrný počet elektronů je schopen proniknout potenciálovou bariérou do polovodiče typu P. Vlivem osvětlení se zvětší proud děr dopadající z polovodiče typu N na přechod. Tento přírůstek proudu děr se značí I_f . Nadbytečný proud děr, který proudí z polovodiče typu N, způsobí nabíjení typu P kladně vzhledem k N. Současně se sníží energetická hladina elektronů a Fermiho hladina se

rozštěpí. Rozdíl energií těchto hladin v obou polovodičích ΔW pak odpovídá potenciálovému rozdílu vzniklému následkem osvětlení.[3]

$$U = \frac{\Delta W}{e} (V, J, C) \quad [2.4]$$

Rozestupem Fermiho hladiny se zvýší počet nosičů, s dostatečnou energií k průchodu potenciálové bariéry PN přechodu. Nadbytečný fotoelektrický proud nezatíženého článku je roven svodovému proudu.

$$I_{svod} = I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{\Delta W}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right) \quad [2.5]$$

- I_s - je nasycený svodový proud v závěrném směru (A)

- k - Boltzmannova konstanta $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

- T - absolutní teplota (K)

- n - počet sériově řazených článků

Zatíženým článkem pak povede proud:

$$I = I_f - I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{\Delta W}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right) \quad [2.6]$$

Po dosažení napětí získáme V-A charakteristiku článku:

$$I = I_f - I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{e \cdot U}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right) \quad [2.7]$$

I_f je fotoelektrický proud, je dan součinem počtu uvolněných nosičů v jednotkovém čase a elementárním nábojem elektronu.

$$I_f = \frac{e \cdot \Phi \cdot \gamma \cdot K \cdot (1 - \rho)}{h \cdot \nu} \quad [2.8]$$

- $e(C)$ - náboj elektronu $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

- $F (W)$ - dopadající zářivý tok

- $F/h\nu (s^{-1})$ - počet dopadajících fotonů za sekundu

- $r (-)$ - součinitel odrazivosti

- $g (-)$ - kvantový výťažek

- $k (-)$ - počet nosičů, které dospějí k přechodu, k počtu nosičů vzniklých absorpcí záření

Proud článku pak může být určen takto: (K je konstanta, B je určeno zářivým tokem)

$$I = K \cdot \Phi - B \cdot \left(\exp\left(\frac{e \cdot U}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right) \quad [2.9]$$

Pro určení optimálního pracovního bodu, ne potřebná znalost maximálního výkonu článku. Ten je dan vztahem:

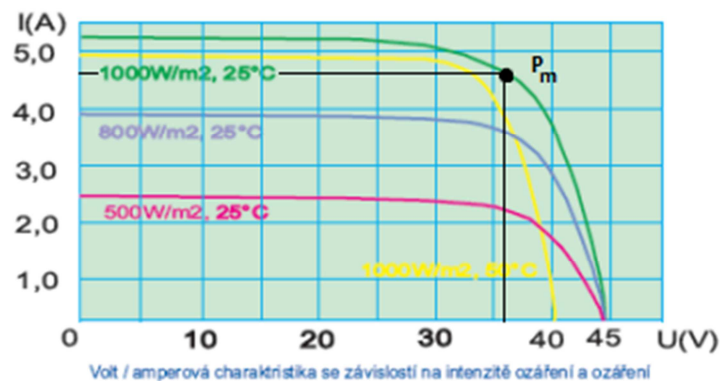
$$P = U \cdot I = U \cdot \left[K \cdot \Phi - B \cdot \left(\exp\left(\frac{e \cdot U}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right) \right] \quad [2.10]$$

Derivujeme-li tento vztah podle napětí. Určíme hodnotu U_m maximální výkon

$$P_m = U_m \cdot I(U_m) \quad [2.11]$$

Maximální efektivitu FV článku je dána poměrem:

$$\eta_m = \frac{P_m}{\Phi} \quad [2.12]$$



Obr. 6.: Volt/Ampérová charakteristika v závislosti na ozáření [4]

Poloha pracovního bodu se určuje v jistém rozmezí v závislosti na připojeném zařízení. Pro optimalizaci je nutno použít dalších přístrojů, jelikož panel je limitován svými fyzikálními vlastnostmi.

2.7 Rozdělení Solárních Soustav

Účelem fotovoltaického panelu je přeměna pomocí fotovoltaických kolektorů přímo na elektrickou energii. Tyto kolektory pak můžeme rozdělit do těchto skupin, v závislosti na technologii výroby a užitných vlastností. Prvním druhem jsou panely monokrystalické. Fotovoltaické panely s monokrystalickými články jsou v našich zeměpisných šířkách nejvíce používány. Krystaly křemíku se vyrábí přibližně ve velikosti 10 cm a vyrábí se pomocí chemického procesu - tažením roztaveného křemíku ve formě tyčí o průměru až 300 mm. Ty se poté rozřežou na tenké plátky. Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí 13 až 17%. [5]

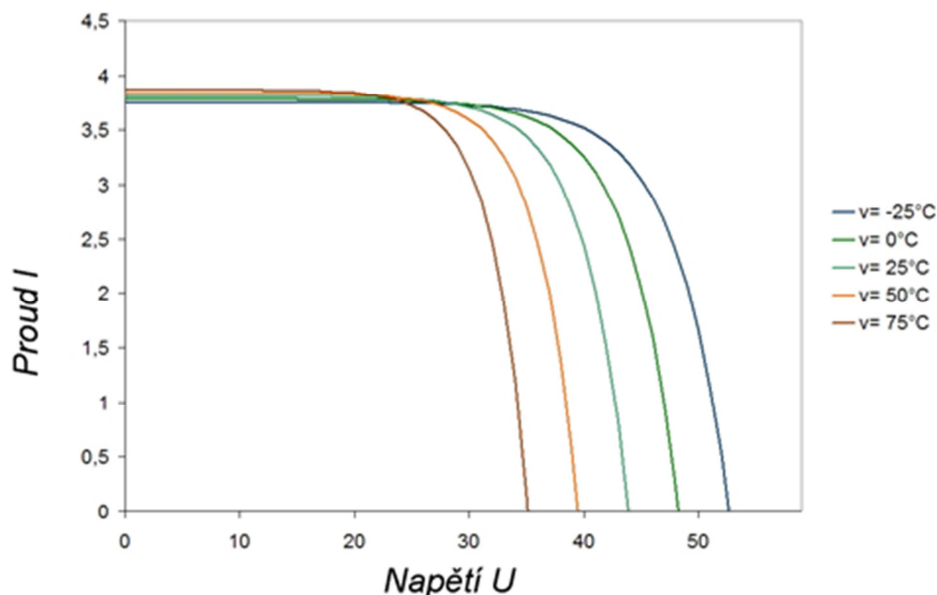
Další možností je pak použití polykrystalických panelů. Pevná látka skládající se z mnoha monokrystalických segmentů na sobě nezávisle orientovaných. Stejně jako u monokrystalických panelů, křemíkové plátky se skládají z většího počtu menších polykrystalů. Účinnost polykrystalických článků se pohybuje od 12 do 14%. Jejich výroba je ale v porovnání s monokrystalickými panely mnohem jednodušší, tedy i levnější a rychlejší. [6]

Posledním druhem panelů na bázi křemíku jsou amorfní solární panely. Amorfní látky jsou látky v pevném skupenství, které nemají pravidelnou krystalickou mřížku. Příklad takové amorfní látky je třeba sklo. Základem amorfních fotovoltaických panelů je napařovaná křemíková vrstva, na sklo nebo fólii. Účinnost těchto fotovoltaických článků je rozhodně nižší oproti monokrystalickým nebo polykrystalickým. Účinnost panelů se pohybuje v rozmezí 7 až 9%. Další nevýhodou pro tento typ panelů je 2,5 krát větší plocha k dosažení stejného výkonu jako u monokrystalických nebo polykrystalických panelů. Celoroční výnos je ovšem o 10% vyšší, a to z důvodu udržení napětí na článku i při nižší intenzitě osvětlení plochy panelu. Tyto typy článků patří k dnes na trhu nejlevnějším a výhodné jsou především tam, kde investor není omezený prostorem. [7]

Nejméně požívanými solárními panely jsou panely vyrobené z organických polymerů. Navzdory nízké ceně, tyto panely mají velkou nevýhodu a to velice nízkou efektivitu obecně 3-6%. Tento druh panelů je stále ve vývoji a dá se v budoucnu očekávat zvýšení účinnosti.

2.8 Vliv teploty na účinnost fotovoltaických článků

Jelikož účinnost přeměny světelné energie na energii elektrickou není absolutní, je část slunečního světla v polovodiči přeměněna na teplo. To je velmi nežádoucí jelikož účinnost FV panelu klesá v závislosti na narůstající teplotě. Pokles účinnosti pak vede k rychlejšímu oteplení a většímu úbytku účinnosti. Proto se hledají způsoby, jak oteplení zamezit.



Obr. 7.: Teplotní závislost Volt/ampérové charakteristiky [8]

Z toho vyplývá, že v zimě je účinnost FV panelů vyšší než v létě. V létě se pak účinnost rychle mění i během dne. Velký rozdíl je i při teplotě 45°C což je normální pracovní teplota panelu. Proud na krátko se sice s rostoucí teplotou zvyšuje ale napětí na prázdko se snižuje. Což ústí v pokles výkonu v závislosti na rostoucí teplotě. V závislosti na rostoucí teplotě klesá také faktor plnění

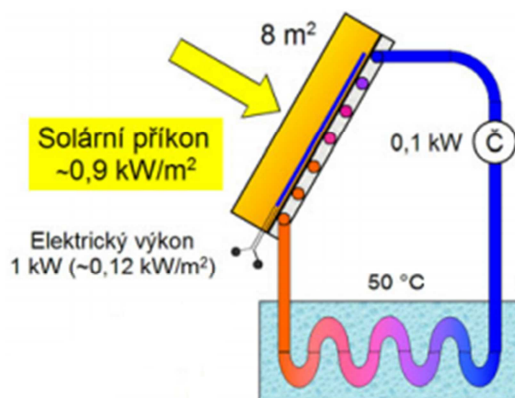
Veličina	Pokles [%/°C]
I_{sc}	0,065
U_{oc}	-0,35
FF	-0,2
P_m	-0,488

Tab. 2.: Běžné hodnoty teplotních koeficientů FV panelu

Hybridní panel

Učinným řešením problematiky chlazení panelu je použití takzvaných hybridních panelů. Jsou kombinací solárních fotovoltaických panelů a solárních tepelných panelů.

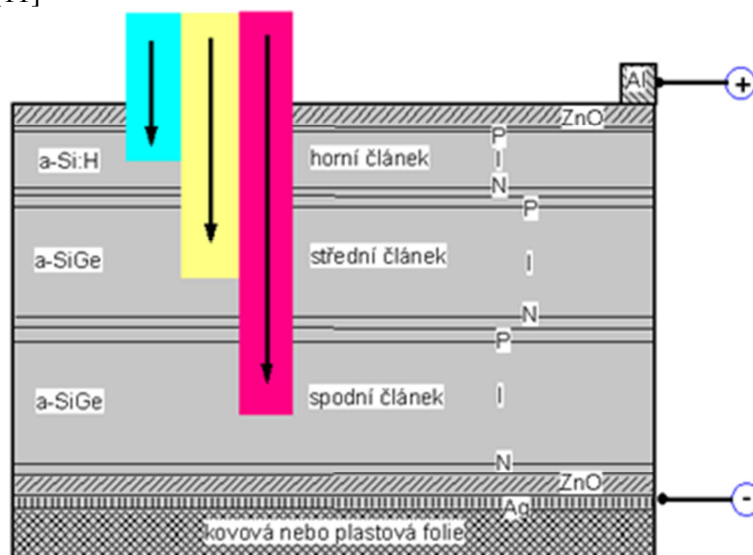
Hybridní panely jsou další z možností, jak zajistit chlazení při přeměně na elektrickou energii s využitím tepla. Jde tedy o kombinaci fotovoltaického panelu a solárního tepelného panelu na ohřev vody. Zadní povrch fotovoltaických článků je pomocí elektricky izolující a tepelně vodivé vrstvy propojen se soustavou trubek s chladícím médiem, které slouží k výměně tepla, které následně skladováno jako teplá voda v zásobníku.[9]



Obr. 8.: hybridní panel [10]

Použití p-i-n přechodu

Pro zlepšení sběru fotogenerovaných nositelů je volena struktura *p-i-n*, to znamená že velká většina elektronů a děr je generována v oblasti silného vnitřního elektrického pole v intrinsické (i) vrstvě. Současně, pro lepší využití celého slunečního spektra, je tento článek složen ze 3 jednoduchých článků (*p-i-n* vrstev) s různou hranou vlastní absorpce. Tím se sníží ztráty následkem přeměny části energie fotonů v teplo ($E=h\nu - E_g$), viz obr. 2. Přídavek germania ve “spodních” článcích umožní využití infračervených fotonů (germanium posouvá absorpční hranu dále do infračervené oblasti), které by jinak nebyly v amorfním křemíku absorbovány. Tloušťka každého článku je pak zvolena tak, aby v každém z nich bylo generováno stejně elektronů a děr (aby tekla stejný proud), výsledné napětí na článku je pak dáno součtem jednotlivých napětí a přesahuje 2 volty, sériovým zapojením je pak dosaženo žádaného výstupního napětí. [11]



Obr. 9.: Schematické znázornění struktury třívrstvého slunečního článku na bázi amorfního hydrogenovaného křemíku ($a\text{-Si:H}$) a slitin amorfního křemíku a germania ($a\text{-Si}_x\text{Ge}_{1-x}\text{H}$).

V horním článku s největší šířkou zakázaného pásu je absorbována krátkovlnná část slunečního spektra (UV, modrá, část zelené), v nejspodnějším s malou šířkou zakázaného pásu pak červená a především infračervená část spektra.[12]

2.9 Výroba FV panelů

MONOKRISTALICKÉ ČLÁNKY

Vyrábí se z monokrystalů vyráběných Czochralského metodou, tažením krystalů z taveniny, na délku krystalu zhruba deset centimetrů. Takto vyrobené ingoty se pak dále řezou drátovou pilou o tloušťce 0,25-0,35 mm. Dále se pak upravují na rovnoměrnou tloušťku leštěním a odleptají se od nečistot. Příměsové materiály jsou pak napařeny do křemíku.

POLYKRISTALICKÉ ČLÁNKY

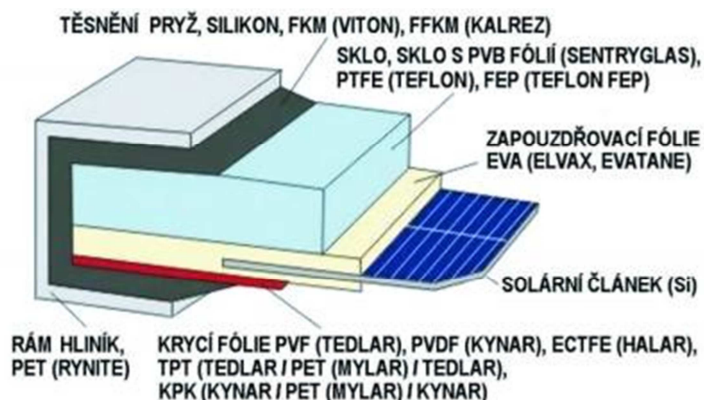
Jednodušší metoda výroby FV článků. Čistý křemík je odléván do forem, které mohou být předpřipraveny pro tvarování speciálních panelů, a zároveň tím zajišťuje učenější nakládání s výchozí surovinou. Tím se významně snižují výrobní náklady. Nevýhodou je nižší účinnost, přechody mezi jednotlivými krystalickými zrný má vyšší odpor.

AMORFNÍ ČLÁNKY

Amorfní znamená, že ty to články nemají žádnou krystalickou strukturu. Vyrábí se chemickým rozkladem vhodných sloučenin např. silanu, ve vodíkové atmosféře. Vzniklá tenká vrstva se pak nanese na plastovou, nerezovou nebo skleněnou destičku. Tato metoda spotřebovává, velni nízké množství křemíku a je tudíž nejlevnější metodou. Absorpce křemíkové vrstvy je až 90%. Takto vytvořené folie lze požívat například jako krycí folie na střechy. Nevýhodou je velká nestabilita výkonu, která velmi rychle poklesne na 80% původního výkonu. Dochází totiž k uvolňování vodíku lapeného v křemíkové vrstvě, které působí její rozrušení. A tenká vrstva křemíku je náchylná na oxidaci vzdušným kyslíkem

2.10 Konstrukce fotovoltaického panelu

Aby fotovoltaický panel mohl bezproblémově sloužit po dobu své životnosti je použito na jeho ochranu speciální kalené sklo, kvalitní fotovoltaický panel tak odolá náročným povětrnostním i srážkovým podmínkám, tzn. větru, dešti, ale i krupobití. Solární panel by neměly poničit ani kroupy do průměru 2 – 2,5 cm. Panely, pokud jsou správně přichyceny na odpovídající nosné konstrukci, odolávají bez úhony i přívalům sněhu v horských oblastech. Na následujícím obrázku jsou dobře vidět použité materiály pro výrobu FV panelů.[13]



Obr. 10.: Konstrukce FV panelu[14]

2.11 Parametry fotovoltaického článku

Elektrické parametry se měří při intenzitě osvětlení 1000 W/m^2 při spektrálním složení světla odpovídající slunečnímu spektru (AM 1.5 Global) a při teplotě 25°C . Základní sledovaný parametr je proud I_{450} , podle kterého se rozdělují články do základních skupin. Kromě základního parametru I_{450} měříme na solárním článku další elektrické parametry:

- I_{450} Proud tekoucí článkem při napětí 450 mV .
- I_{sc} Zkratový proud, tekoucí fotovoltaickým článkem při napětí 0 V . Tento parametr lze na solárním článku změřit pouze speciálním přístrojem. Běžným ampérmetrem má vnitřní odpor kolem 100 miliohmů a napětí na článku při měření takovým ampérmetrem může být kolem 300 mV .
- U_{oc} Napětí na solárním článku naprázdno, bez zátěže.
- P_m Maximální výkon, který může článek dodávat. Bod maximálního výkonu solárního článku je na charakteristice zhruba uprostřed ohybu. Zařízení, odebírající energii ze solárních článků, by mělo zatěžovat fotovoltaický článek takovým způsobem, aby článek pracoval právě v okolí bodu maximálního výkonu. Jen tak může fotovoltaický článek využít sluneční energii optimálně.
- I_m Proud, při kterém solární článek dodává maximální výkon.
- U_m Napětí, při kterém solární článek dodává maximální výkon.
- FF Fill Faktor. Parametr se zjišťuje výpočtem podle tohoto vzorce:

$$FF = \frac{I_m \cdot U_m}{U_{oc} \cdot I_{sc}} \quad [2.13]$$

- EEF Účinnost solárního článku. U fotovoltaických článků vyrobených z monokrystalického křemíku bývá kolem patnácti procent.
- R_{so} Sériový odpor solárního článku.
- R_{sh} Paralelní odpor solárního článku. [15]

3. Komponenty

3.1 Invertory

Invertory, nazývané také jako střídače slouží k přeměně stejnosměrného napětí na střídavé napětí sítě. Invertory se liší vnitřním zapojením, dělí se pak na invertory s klasické a elektronické. Výhodou invertorů elektronického je vyšší účinnost, ale postrádají galvanické oddělení. Protože jsou realizované, jako spínáme zdroje. Tím se zvyšuje riziko poškození invertoru, jelikož není oddělena stejnosměrná a střídavá část.

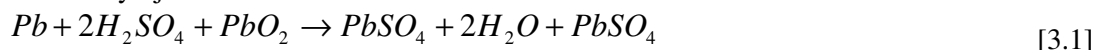
Invertory klasické jsou realizovány jako stejnosměrný motor a generátor na společné ose. Jejich hmotnost a rozměry jsou značně velké. Zejména pro nízké frekvence se železná jádra vedoucí magnetický tok rychle přesytí, takže jádra musí být dosti velká pro přenesení daných výkonů. Nepříznivě vlastnosti ovlivňují i rotační části způsobující vibrace, snižující spolehlivost, stejně jako hluk při provozu měniče.

3.2 Olověné akumulátory

Akumulátory jsou chemické sekundární zdroje energie. Olověné akumulátory jsou jedním z nejpoužívanějších elektrochemických zdrojů energie. Vyrábějí se v kapacitách řádově od 1 do 10 000 Ah. Hlavními výhodami je dobře zvládnutá technologie výroby, relativně nízká cena a vysoký výkon – např. pro startování automobilu by se jiné články než olověné použít prakticky nedaly. Nevýhodné je, že se samy se vybíjí, v prvních dnech dochází k úbytku dokonce o 2-3%.

Chemický zdroj znamená, že rozdíl elektrického potenciálu na elektrodách vzniká v důsledku chemické reakce mezi elektrodami a elektrolytem. Olověný akumulátor se skládá z článků, jejichž napětí je 2,1V. Ty jsou pak vyrobeny z plastové nádoby, kladné elektrody - oxid olovičitý (PbO_2), záporné elektrody - houbovité olovo, separátoru – deska z nevodivého materiálu a elektrolytu. Tím bývá nejčastěji kyselina sírová ředěná vodou ($H_2SO_4 + H_2O$), při hustotě $1,285 \text{ kg/dm}^3$.

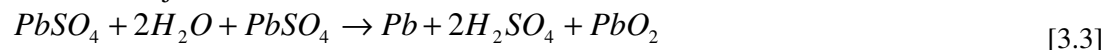
Rovnice vybíjení:



Rovnice uvolnění energie:



Rovnice nabíjení



Rovnice akumulace energie:



Sekundární zdroj znamená, že akumulátoru je třeba nejprve energii dodat a až pak lze použít jako zdroj energie. Akumulátory se podle použití dělí do dvou hlavních skupin.

Startovací

Olověné baterie určené pro startování nejsou navrženy pro hluboké vybití – mají velký počet tenkých elektrod kvůli co největší ploše a tím co největšímu proudu. Hlubokým vybitím mohou být snadno poškozeny, způsobí totiž ztrátu kapacity. *"Bezúdržbové akumulátory"* - klasické olověné, na kterých již nejsou běžné zátky pro nalévání elektrolytu a odvětrávání.

Trakční

Speciální baterie navrženy pro hluboké vybití mnohem méně podléhají opotřebení elektrod při vybíjení a nabíjení a používají se tam, kde se baterie pravidelně vybíjejí a nabíjejí – fotovoltaické systémy, golfové vozítka, elektrické automobily atd. Tyto baterie mají tlusté elektrody, které dodávají sice menší proud, ale vydrží časté nabíjení. [16]

4 fotovoltaická soustava

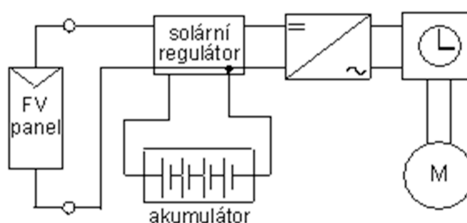
4.1 Použití fotovoltaické soustavy

Fotovoltaické soustavy se dají použít všude tam, kde není možné zajistit běžným způsobem dodávku elektrické energie, nebo si tak nepřejeme učinit. Zároveň musí být splněna podmínka na dostupnost slunečního světla dostatečné intenzity. Použitím takového energetického zdroje je zajištěna dlouhodobá dodávka energie nezávislá na rozvodné síti. Vzhledem k nenáročné údržbě je energie vyráběna prakticky zdarma, přesně řečeno hodnota energie vyrobené tímto způsobem se rovná hodnotě zařízení. To znamená, že s rostoucím množstvím energie a při stejných pořizovacích nákladech cena energie klesá. Nespornou výhodou je ekologická šetrnost a tichý provoz takového zařízení. Z tohoto důvodu je vhodná i pro použití v běžných domácnostech, hlavně jako podpůrný zdroj energie.

Nevýhody takovýchto systémů jsou nízká účinnost, množství takto vyrobené energie se v průběhu roku mění v závislosti na ročním období. Problémem je také cena těchto panelů, která je vysoká. Proto je potřeba zvážit i možnosti jiných zdrojů a rentabilitu projektu. Dále je pak problémem návrh technického řešení těchto panelů a to nejen z důvodu složitosti řešení, ale i z důvodu možné velké rozlohy soustavy solárních panelů. Muže se stát že pokud by byl požadovaný odběr příliš velký, například spotřeba celého domu. Tak při použití běžných panelů nám nemusí zbýt pozemek i pro dům samotný.

4.2 Návrh řešení

Soustavu budeme řešit jako ostrovní systém. Celou soustavu lze popsat jako dva podsystemy a to systém zdroje, jehož hlavní částí je solární kolektor a regulátor nabíjení akumulátoru. Samotný akumulátor je v této soustavě spotřebičem. Druhým systémem je část zodpovědná za samotné čerpání složená z čerpadla, měniče, časovače a akumulátoru, který zde plní funkci zdroje.



Obr. 11.: Schéma soustavy

Prvním krokem bylo určení množství energie potřebné vyzvednutí požadovaného množství vody (1000 l) z dané hloubky (20 m). Při běžných podmínkách.

$$E = (\rho \cdot V) \cdot g \cdot h \quad [4.1]$$

ρ – Měrná hustota (voda $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

g – Tíhové zrychlení

V – Objem kapaliny (1 m^3)

h – Výška výtlačku

$$E = (1000 \cdot 1) \cdot 9,82 \cdot 20 = 196\,400 \text{ J}$$

Dále pokračujeme tím, že si podle dokumentaci zjistíme průměr vrtu (105mm), nalezneme vodní čerpadlo odpovídající nárokům na velikost a výtlak. Jelikož bylo určeno řešení pomocí ponorného čerpadla jako vhodné. Mezi posuzovanými čerpadly bylo jako nejlepší vybráno Ponorné čerpadlo Ruche 1NG. Jedná se o vibrační čerpallo s výtlakem 40m a příkonem 220W. Z dokumentace jsme vyčetly vztah mezi výškou výtlaku a průtokem. Je snadné určit, že při výšce vodního sloupce 20m je průtok $0,3\text{ls}^{-1}$. Pak dobu čerpání určíme jako:

$$t = \frac{V}{Q_V} \quad [4.1]$$

t – doba čerpání, V – Objem kapaliny, Q_V - Objemový průtok

$$t = \frac{1000}{0,3} = 3333,33\text{s}$$

$$3333,33\text{s} = 0,9259\text{ h}$$

Pokud jsme schopni s určitostí určit dobu čerpání, při známém příkonu můžeme určit celkové množství energie nutné pro správnou funkci.

$$W = P \cdot t \quad [4.2]$$

$$W = 220 \cdot 3333,33 = 733\,333,26\text{J}$$

Na první pohled je jasné, že oproti původnímu odhadu bude potřeba mnohokrát větší množství energie. Náš původní odhad byl dosti idealizovaný a celá kapalina byla přenesena najednou. Reálně musíme kapalinu protlačit trubici, což znamená tření. Zároveň pohybujeme vodním sloupcem, který samozřejmě působí hydrostatickou tlakovou silou proti čerpadlu.

Poté následující krok návrhu je určení měniče. Z funkce vibračního čerpadla vyplývá, že se nemusíme obávat rozběhových proudů, jelikož čerpadlo neobsahuje točivé součásti. Princip je takový, že ocelová kulička je střídavě přitahována magnetickým polem, takže je v rozběhu prakticky neustále. Mezi posuzovanými měniči byl jako dostačující vybrán měnič napětí 12V/230V-300W Microcontrol. Jelikož má dostatečnou výkonovou rezervu, a je vhodný i pro proudy vyšší než je potřeba (1A). Teď už jen zbývá určit množství energie před měničem, jelikož účinnost měniče je 90%.

$$W_{pv} = W \cdot \frac{1}{\eta_m} \quad [4.3]$$

η_m – účinnost měniče

$$W_{pv} = 733\,333,26 \cdot \frac{1}{0,9} = 814\,814,7333\text{J}$$

Pokud tedy známe hodnotu potřebné energie a víme, že jí budeme získávat z 12V baterie tak její kapacitu určíme následovně.

$$Q = \frac{W_{pv}}{V \cdot 3600} \quad [\text{Ah}] \quad [4.4]$$

$$Q = \frac{814\,814,7333}{12 \cdot 3600} = 18,8614Ah$$

Tato kapacita pak představuje odebranou energii z akumulátoru. Pro určení akumulátoru je pak potřeba určení využitelné kapacity akumulátoru. Jelikož hluboké vybíjení snižuje životnost akumulátoru a může vést k jeho úplnému zničení. Určily jsme využitelnou kapacitu akumulátoru, na 50% jmenovité kapacity. To odpovídá napětí 10,8V, při kterém je akumulátor považován za vybitý. Pro určení kapacity bylo potřeba znát dobu vybíjení, stanovenou jako jedna hodina. Protože využitelná kapacita závisí na délce vybíjení. Výrobci udávají kapacitu při dvacetihodinovém vybíjení, která je značně větší než kapacita při vybíjení hodinovém. Důležité pak je, aby si akumulátor při tomto typu vybíjení zachoval dostatečný výkon. Nejméně pak 245W.

$$Q_{50\%} = \frac{Q}{0,5} \quad [4.5]$$

$$Q_{50\%} = \frac{18,8614}{0,5} = 37,722Ah$$

Takovýmto požadavkům odpovídá akumulátor FIAMM 27004/7. Tento akumulátor při teplotě 25°C, vybíjecím napětí 12V a době vybíjení 1 hodina. Dosahuje využitelné kapacity 40,7 Ah s konstantním výkonový odběr 469 W.

K správnému nabíjení akumulátoru je zapotřebí využití regulátoru nabíjení. Regulátor nabíjení umožňuje zajištění správného postupu nabíjení a nabízí vícero nabíjecích postupů jako je rychlé nebo pomalé nabíjení ovlivňující vlastnosti akumulátoru. Zejména pak nejvíce ovlivňuje životnost akumulátoru. Slouží také k oddělení solárního panelu od akumulátoru, tím zabraňuje zpětnému toku energie z akumulátoru do panelu. Zabraňuje přebíjení a hlubokému vybití baterie. Dobrý regulátor poskytuje také technické data o provozu zařízení. Jako je okamžitá hodnota nabití akumulátoru v procentech denní a měsíční spotřeba energie. Hodnocení stavu z pohledu životního cyklu akumulátoru. Poskytuje možnost komunikace s nadřazeným systémem určeným k monitorování funkce, řízení provozu.

Takto určené nároky splňuje regulátor nabíjení phocos CX-v1.1. Tento regulátor je navržen pro domácí i průmyslové použití. Regulátor je možno použít v menších systémech s výkonem fotovoltaického pole do 180Wp při 12V a 360Wp při 24V. Regulátor slouží jako propojovací a ochranný prvek pro solární články, akumulátor a spotřebiče. 1. Regulátor nabíjení chrání akumulátor před přebíjením solárními články a před hlubokým vybitím spotřebičem. Nabíjecí charakteristika je složena z několika fází které se přizpůsobují i teplotě okolního prostředí.

1. Regulátor provádí automatickou volbu režimu 12V nebo 24V dle připojeného systému.
2. Tlačítko umožňuje zapínat a vypínat připojené spotřebiče.
3. Regulátor může být programován pro automatické spínání spotřebičů
4. Regulátor obsahuje řídicí výstup pro spínání speciálních spotřebičů, schopných využít přebytek energie
6. Obsahuje sériové rozhraní, které lze pomocí sady CX-I propojit s počítačem pro stahování dat a programování funkcí regulátoru.
7. Regulátor nabíjení je vybaven mnoha bezpečnostními a grafickými funkcemi. [17]

Při určení parametrů panelu postupujeme takto. Určily jsme si, že během dne by mělo být po osmy hodinách dosaženo plného nabití akumulátoru. Tuto dobu jsme použily, protože většina dní v roce je delší než šest hodin (vyjma zimního slunovratu). Tudíž pokud jsme schopni splnit podmínky v tento den, tak jsme je automaticky splnily v jakýkoli jiný den. Požadovaný výkon určíme takto:

$$P = \frac{Q \cdot U \cdot 1,2}{T_{est}} \cdot \frac{1}{\eta} \quad [4.6]$$

T_{est} - odhadovaný čas nabíjení η - účinnost nabíjecího cyklu

$$P = \frac{70 \cdot 12 \cdot 1,2}{8} \cdot \frac{1}{0,7} = 180 \text{ W} \quad [4.7]$$

Takto určena hodnota udává požadovaný výkon panelu, aby byl akumulátor nabit během dne nabit do plné kapacity 70 Ah.

Fotovoltaický solární panel STP205-18/Ud

Pro ověření správnosti je potřeba určit skutečný výkon panelu, při běžné teplotě provozu a běžném osvitu 800 Wm^{-2} .

Vnitřní odpor panelu:

$$R_s = \frac{U_{oc}}{I_{sc}} \quad [4.8]$$

$$R_s = \frac{33,5}{8,23} = 4,07 \Omega$$

Faktor plnění:

$$FF = [0,8 - 0,0006(T - 300)] \cdot (1 - 0,05 \cdot C \cdot A \cdot R_s)$$

$$FF = [0,8 - 0,0006(25 - 300)] \cdot (1 - 0,05 \cdot 1 \cdot 1,470144 \cdot 4,07) = 0,6762967$$

Nárůst proudu:

$$I_{45} = I_{sc} + \left(\frac{I_{25} \cdot TKI \cdot \Delta T}{100} \right) \quad [4.9]$$

$$I_{45} = I_{sc} + \left(\frac{8,23 \cdot 0,055 \cdot 18}{100} \right) = 8,148523 \text{ A}$$

Pokles napětí:

$$U_{45} = U_{oc} + \left(\frac{U_{oc} \cdot TKU \cdot \Delta T}{100} \right) \quad [4.10]$$

$$U_{45} = 33,5 + \left(\frac{33,5 \cdot (-0,33) \cdot 18}{100} \right) = 31,5101 \text{ V}$$

Pokles výkonu:

$$P_{45} = P_{25} + \left(\frac{P_{25} \cdot TKP \cdot \Delta T}{100} \right) \quad [4.11]$$

$$P_{43} = 205 + \left(\frac{205 \cdot (-0,44) \cdot 18}{100} \right) = 188,764 \text{ W}$$

Výkon při intenzitě záření 800Wm^{-2} a teplotě panelu 45°C

$$P_{800} = 0,8 \cdot P_{45}$$

$$P_{800} = 0,8 \cdot 188,764 = 151,0112\text{ W}$$

[4.12]

Jedná se o polykrystalický panel, splňující naše požadavky na výkon i při nízkých hodnotách osvětlení.

Jako časovač použijeme mechanickou spínací zásuvku. Byl zvolen model [E305D](#). Toto zařízení lze nastavit k zapnutí čerpadla na časový usek 15 minut tak aby se čerpadlo neponičilo provozem na prázdko, z důvodu nedostatečné sytosti vodního zdroje. Mechanická zásuvka je dimenzovaná na výkon 350W a proudy 16A. Takže jejím připojením do obvodu motoru nebude poškozena. Jednotlivé pracovní intervaly jsou rozvrženy během celého dne, k přesnému rozplánování je potřeba praktického odzkoušení z důvodu charakteristických podmínek umístění soustavy.

4.3 Sestavení fotovoltaické soustavy

Fotovoltaický panel byl umístěn na vhodném místě, které bylo pro tento účel vybráno. Jednalo se o dobře osvětlenou parcelu v blízkosti vrtu, v obci Dolní Lhota. Panel byl postaven na stojan pod úhlem $37^\circ (\pm 2)$ orientovaný směrem na jih pro dosažení nejlepšího osvětlení v letních měsících.

Propojení panelu a regulátoru bylo provedeno pomocí vodiče CYKY 2x1,5 příslušné délky. Polarita byly pak výrazně označena na konci vedení, červenou voděodolnou samolepící páskou. Při zapojování bylo třeba dbát pokynů výrobce regulátoru. Nejprve byl zapojen akumulátor k regulátoru, nejprve kladný pól. Pomocí vodičů H05V-U (CY) 1, dle konvence pro stejnosměrná vedení dle platné normy ČSN IEC 446:1992. Norma je však od roku 2001 pouze doporučená, přesto jsme se jí snažily dodržet. Zapojené vodiče jsme svázaly spirálovou ochranou bužírkou. Poté zapojily panel k regulátoru. Znovu byl připojen kladný potenciál jako první.

Pro propojení s AC/DC měničem byly použity vodiče H05V-U (CY) 1 a svázaný spirálovou ochranou bužírkou. Propojení časovače a měniče bylo provedeno, přímým zapojením vidlice časovače do zdířky měniče. Následné zapojení čerpadla s časovačem bylo provedeno přípojným kabelem vibračního čerpadla. Čerpadlo bylo pak umístěno ve vrtu v hloubce 21 m, zavěšené na jistícím pleteném silonovém lanu. Vývodní hadice byla provedena hadicí o průměru 20mm a vyvedené podél jistícího lana a elektrického vedení na povrch.

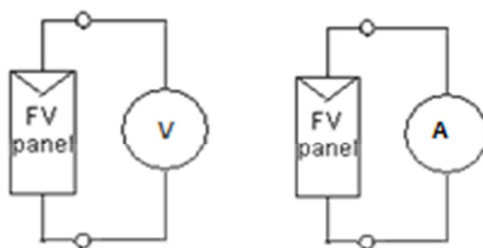
4.4 Měření

Měření bylo prováděno za účelem praktického ověření teoretického návrhu. Soustava byla sestavená z dostupných součástí. Které se v některých ohledech lišily od součástí daných návrhem. Přesto byla soustava plně funkční v rozsahu daném odlišností součástí.

Použité přístroje a součásti:

- Fotovoltaický panel PN-HBS-230-60-6-012, špičkový výkon 230W,
- Regulátor nabíjení CX-v1.1
- Akumulátor 40Ah, 12V
- Ponorné čerpadlo Ruche 1NG
- Měnič napětí 12V/230V-300W Microcontrol

První měřením bylo určení napětí na prázdko a proudu na krátko. Při tomto měření je třeba postupovat obezřetně a rychle, zejména pak při měření na krátko. Podmínky měření pak byly osvětlení 956 lux (cca. $800\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), teplota panelu 37°C .



Obr. 12.: Schéma měření napětí na prázdko a proudu na krátko

Napětí na prázdko	34,96 V
Proud na krátko	8,24 A

Tab. 3.: naměřené hodnoty U_{oc} a I_{sc} FV panelu

Ověření hodnot a závislost na teplotě:

$$I_{37} = I_{sc} + \left(\frac{I_{25} \cdot TKI \cdot \Delta T}{100} \right) \quad [4.13]$$

$$I_{37} = 8,22 + \left(\frac{8,22 \cdot 0,033 \cdot 12}{100} \right) = 8,253\text{A}$$

Pokles napětí:

$$U_{37} = U_{oc} + \left(\frac{U_{oc} \cdot TKU \cdot \Delta T}{100} \right) \quad [4.15]$$

$$U_{37} = 37 + \left(\frac{37 \cdot (-0,39) \cdot 12}{100} \right) = 35,26\text{ V}$$

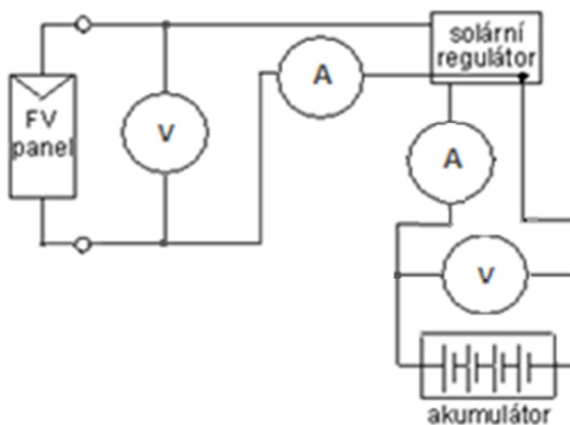
Vnitřní odpor panelu byl pak určen jako:

$$R_s = \frac{U_{oc}}{I_{sc}} \quad [4.16]$$

$$R_s = \frac{34,96}{8,24} = 4,24\Omega$$

Toto měření složilo k předběžnému určení pracovního bodu a posunutí voltampérové charakteristiky v důsledku teplotního driftu parametrů panelu.

Dalším měřením bylo měření výkonu panelu při nabíjení akumulátoru. Měření bylo provedeno za následujících podmínek. 956 lux (cca. $800\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), teplota panelu 37°C . Během měření byly spotřebiče odpojeny.



Obr. 13.: Schéma měření výkonu panelu

napětí panelu	30,75 V
proud panelu	3 A
nabíjecí napětí	14,5 V
Nabíjecí proud	6,3 A

Tab. 4.: naměřené hodnoty výkonu panelu a nabíjení akumulátoru

Výkon panelu byl určen jako:

$$P = U \cdot I$$

[4.17]

$$P = 30,75 \cdot 3 = 92,25\text{W}$$

Doba nabíjení panelu byla určena jako:

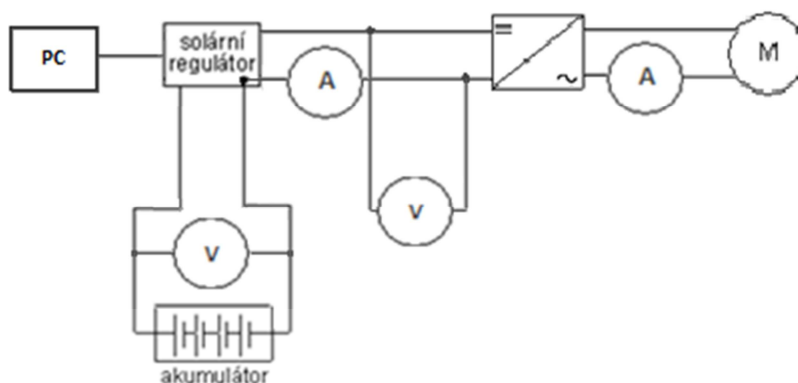
$$t = \frac{1,2 \cdot Q}{I_n}$$

[4.18]

$$t = \frac{1,2 \cdot 40}{6,3} = 7,62\text{ h}$$

Měření složilo k určení výkonu panelu a vypočtení doby nabíjení akumulátoru. Výkon panelu se v dlouhodobém měřítku mění v závislosti na intenzitě světla, změně uhlu a frekvenčního spektra slunečního záření během dne. Určená doba nabíjení je proto dosti hrubá. Ale s jistotou jsme mohli určit, že doba osvitů panelu je dostatečná i při horším počasí.

Poté byl změřen odběr čerpadla a pokles napětí akumulátoru po odčerpání 100 l. Toto měření bylo provedeno s odpojeným panelem. Tím bylo dosaženo nočních podmínek, a bylo možné určit pokles náboje v akumulátoru v závislosti na odběru bez dobíjení. V tomto případě časovač nebyl zapojen, řízení bylo provedeno sepnutím měniče. Údaje o stavu akumulátoru byly odečteny pomocí počítače přes sériovou linku. Doba čerpání pak byla šest minut.



Obr. 14.: Schéma měření odběru čerpadla

Výstupní napětí regulátoru	11,3 V	Výstupní proud regulátoru	30A
Napětí motoru	230V	Proud motoru	1,45A
počáteční napětí na prázdnou akumulátoru	13,3V	Konečné napětí akumulátoru	12,7V
Počáteční stav nabití	55%	Konečná stav nabití	35%

Tab. 3.: odběru čerpadla

Pokles napětí akumulátoru měl lineární průběh, střední hodnota napětí byla určena jako 13 V. Práce vykonaná čerpáním byla pak určena jako:

$$W = U_{stř} \cdot I \cdot t \quad [4.19]$$

$$W = 13 \cdot 30 \cdot 360 = 140\,400 \text{ J}$$

Pokles náboje akumulátoru byl určen jako:

$$\Delta Q = I \cdot t \quad [4.20]$$

$$\Delta Q = 30 \cdot 0,1 = 3 \text{ Ah}$$

Při rychlém vybíjení akumulátoru docházelo k rychlejšímu poklesu napětí, než při dvacetihodinovém vybíjení, při kterém je akumulátor normován jako 40 Ah. Užitečná kapacita je pak menší než skutečná akumulátoru. Jelikož bylo odebráno 20% kapacity akumulátoru, celková hodnota užitečné kapacity byla určena jako:

$$Q_u = 5 \cdot \Delta Q \quad [4.21]$$

$$Q_u = 5 \cdot 3 = 15 \text{ Ah}$$

Tímto lze odhadnout, že tato soustava by byla schopna odčerpat cca. 500 l. Soustava s akumulátorem daným návrhem, by oděr dokázala pokrýt z důvodu téměř dvojnásobné

kapacity a lepší proudové zatížitelnosti. Z toho vyplívá menší strmost poklesu napětí a vyšší užitná kapacita.

Účinnost měniče byla určena podílem výkonů měniče a akumulátoru.

$$\eta_m = \frac{U_{stř} \cdot I_{bat}}{U_m \cdot I_m} \cdot 100 \quad [4.22]$$

$$\eta_m = \frac{13 \cdot 30}{230 \cdot 1,45} \cdot 100 = 85,51\%$$

Účinnost měniče byla měřena z důvodu nedostatečné informovanosti o daném měniči, ke kterému nebyla přibalená dokumentace.

Výsledkem měření bylo určení provozních vlastností fotovoltaického panelu a ostrovního systému. Podařilo se určit vlastnosti systému a vliv odlišností na celkovou funkci systému. Zejména pak vliv menší kapacity akumulátoru. Která pak snižuje množství práce možné vykonat bez neustálého dobíjení.

Při čerpání i v době nabíjení bylo možné lépe využít výkon panelu, aby energie v době nabití akumulátoru nebyla ztracena. Takový to způsob je i právě jediný možný z důvodu sytosti vrtu, takže bylo vždy možné odčerpát jen omezené množství vody (cca. 200 l). Takže bylo potřeba rozplánovat čerpání do více cyklů pomocí časovače. S prodlevou pro dotečení dostatečného množství vody. A s výhodou byly cykly plánované i během dne.

Vyvozené závěry z měření, potvrdily správnost navrženého systému. Poukázaly na problematiku správného návrhu akumulátoru, jeho používání a údržby. Ochrany před přebíjením, hlubokým vybitím. Stejně jako na problémy spojenými s vysokými proudovými odběry z akumulátoru.

5. Závěr

Bakalářská práce se zabývá využitím fotovoltaiky a návrhem ostrovních systémů. Vývoj fotovoltaiky za posledních deset let lze shrnout do posledních deseti let, kdy došlo k jejímu největšímu vývoji a rozšíření. Instalovaný výkon fotovolatických systémů rapidně narůstá, avšak ve srovnání s jinými druhy zdrojů energie je zanedbatelný.

V české republice mezi lety 2007 a 2008 narostl instalovaný výkon fotovolatických elektráren z 5,36 MW na 54,67 MW. V roce 2010 pak přesáhl 84MW. Z dvanácti nových členských států EU má Česká Republika nejvyšší výkon FV systémů. Nejlepší podmínky pro používání FV systémů jsou na jižní Moravě a ve středních Čechách.

Fotovoltaické systémy rozeznáváme podle použité technologie výroby fotovolatických panelů. Jsou to monokrystalické, polykrystalické a amorfní. Monokrystalické panely mají nesložitější výrobní postup, spotřebuje se na jejich výrobu nejvíce čistého křemíku, ale dosahují nejvyšších účinností. Polykrystalické panely se dají vyrábět v různých tvarech a jejich výroba je méně obtížná. Amorfní panely jsou pak ohebné a lehké. Výhodou je pak nejmenší spotřeba čistého křemíku ale mají nejmenší účinnost. V současné době se zkoumají jiné než křemíkové fotovoltaické materiály.

Fotovoltaický systém byl navržen jako ostrovní systém určený k čerpání vody z vrtu hloubky 20m a průměru vrtu 105 mm. Systém byl navržen jako samočinný a bezúdržbový. Ke své funkci používá pouze energii získanou fotovoltaickým panelem. Během jednoho dne je schopen vyčerpat 1000 l vody. To i za zhoršených podmínek. Za opravdu špatných podmínek však hrozí, že již nesplní podmínky zadání, projeví se to zmenšeným množstvím vyčerpané vody. Což považuji za výhodu, jelikož vlivem nedostatku energie systém nepřestává pracovat. Ani nehrozí poškození žádné ze součástí. Regulátor s ochranou proti hlubokému vybití akumulátoru odepne akumulátor dříve, než dojde k poškození. Čerpadlo náchylné k poškození při chodu na prázdko ke zničení nikdy neodčerpá všechnu vodu z vrtu. Klesající množství vyčerpané vody pak může sloužit jako indikátor stavu akumulátoru po delší době používání, upozorní tím na potřebu výměny akumulátoru.

Na základě návrhu byl vyroben fotovoltaický systém částečně jiných parametrů. Jelikož byly využity dostupné součásti. Na této soustavě byla prověřena navržená soustava. Měření poukázalo na nutnost praktického otestování navržené soustavy zejména v problematice akumulátoru. Navrhovaným dalším postupem řešení by mělo být ošetření návrhu akumulátoru a jeho možné další úpravy. Dále by se mělo používat sice dražších, ale pro tento účel vhodnějších trakčních akumulátorů. Tyto akumulátory umožní delší používání čerpadla, v návrhu i v soustavě určená k měření bylo použito akumulátorů startovacích vhodnějších pro krátkodobé požití.

Z ekonomického hlediska jsou fotovoltaické systémy v České Republice výhodné zejména z důvodu zelených úspor. Z energetického hlediska tyto systémy v České Republice nejsou příliš výhodné, výhodnější by byly spíše ve Španělsku, Portugalsku, nebo na jihu Itálie. Vzhledem k tomu, že fotovoltaické systémy zabírají velkou plochu na jednotku instalovaného výkonu. Proto by bylo lepší stavět velké fotovoltaické systémy jako fotovoltaické elektrárny na místech, které by nešly využít užitečněji. Příkladem takových míst jsou africké, americké a asijské pouště. Jelikož na m² africké pouště dopadá 2800 kWh a na m² v České Republice na dopadá 1000kWh. V rovníkových oblastech je pak sklon panelů 0°. Takže panely zabírají méně místa.

Jako shrnutí fotovolatických soustav bych vyjmenoval výhody a nevýhody. Výhodou je, že při výrobě nevznikají žádné skleníkové plyny. Dále umožňují dodávku energie na odlehlých místech bez přístupu k rozvodné síti. Další výhodou je nenáročnost, jelikož fotovoltaické systémy vyžadují minimální obsluhu.

Nevýhody jsou pak vysoké pořizovací náklady, nízká účinnost, velká zastavěná plocha a složitá akumulace energie.

Použitá literatura:

- [2] LIBRA, M., POULEK, V. Solární energie, Fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. ČZU v Praze, 2006, str. 47-76, ISBN 80-213-1488-5

Použité internetové odkazy:

- [1] fasteners-solar:.. Uvodem - Fasteners-solar. [online], citováno: 16. 11. 2010< <http://www.fasteners-solar.cz/uvodem/>, >
- [3] fei1:..měření 2 – Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB-TU Ostrava. . [online], citováno: 29.3.2011
<http://fei1.vsb.cz/kat451/studium/studium_soubory/studijni_materialy/el/mereni2.doc,>
- [4] solartec:.. solartec-sg-180-5z – Solartec. . [online], citováno: 29.3.2011
<<http://www.solartec.cz/cs/vyroba/panely/solartec-sg/solartec-sg-180-5z.html>,>
- [5] rady-kutilum:..Typy fotovoltaických (solárních) panelů pro výrobu elektřiny – Rady Kutilům. [online], citováno 8.1.2011< <http://www.rady-kutilum.com/httpwwwrady-kutilumcomfotkyskutecneamo1jpg-100>, >
- [6] rady-kutilum:..Typy fotovoltaických (solárních) panelů pro výrobu elektřiny – Rady Kutilům. [online], citováno 8.1.2011< <http://www.rady-kutilum.com/httpwwwrady-kutilumcomfotkyskutecneamo1jpg-100>, >
- [7] rady-kutilum:..Typy fotovoltaických (solárních) panelů pro výrobu elektřiny – Rady Kutilům. [online], citováno 8.1.2011< <http://www.rady-kutilum.com/httpwwwrady-kutilumcomfotkyskutecneamo1jpg-100>, >
- [8] czrea:.. Fotovoltaický střídač: Účinnost není vše, důležitější je množství dodané energie... - Czech Re Agency. [online], citováno: 29.3.2011 < <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/fv-stridac>, >
- [9] czrea:.. Sbornik_hybridy - Czech Re Agency. [online], citováno: 29.3.2011
<http://www.czrea.org/files/pdf/studie/Sbornik_hybridy.pdf>
- [10] czrea:.. Sbornik_hybridy - Czech Re Agency. [online], citováno: 29.3.2011
<http://www.czrea.org/files/pdf/studie/Sbornik_hybridy.pdf>
- [11] fzu:.. premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou –Fyzikální ústav Akademie věd ČR. [online], citováno: 29.3.2011 < <https://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou>, >
- [12] fzu:.. premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou –Fyzikální ústav Akademie věd ČR. [online], citováno: 29.3.2011 < <https://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou>>
- [13] cne:.. Úvod do FV systému – Czech Nature Energy. [online], citováno: 30.3.2011
<<http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>>

- [14] cne.: Úvod do FV systému – Czech Nature Energy. [online], citováno: 30.3.2011
<<http://www.cne.cz/fotovoltacke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>>
- [15] solartec Jak měříme solární články– Solartec. . [online], citováno: 29. 3. 2011<<http://www.solartec.cz/cs/projekty/zajimavosti/mereni-clanku.html>,>
- [16] ucitse .: 2008 02 13 Akumulatory – Učit se. citováno: 29. 3. 2011
<http://ucitse.vitej.net/files/fyzika/2008_02_13_Akumulatory.doc>
- [17] ecoshop.: detail-... inspirace přírodou – Ecoshop. [online], citováno 4.2.2011<http://www.ecoshop.cz/vyrobek/64/0*14_fv-regulatory/>

Seznam elektronických příloh:

Stažené hodnoty z regulátoru

Před měřením odběru

Aktuální data 1

Nastavení 1

Úvodní panel 1

Po měření odběru

Aktivní funkce 2

Aktuální data 2

Úvodní panel 2

Výkon systému 2